



Analisis pengaruh densitas terhadap potensi komposit apron proteksi radiasi sinar-X dengan bahan Kaktus Centong dan Timbal (II) Asetat

INTAN RAHMAWATI¹, EKO BUDI JUMPENO², JUNE MELLAWATI^{2**}, DAN RAMLAN^{1*}

¹ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan 30862, Indonesia. ² Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Lebak Bulus, Jakarta Selatan 12440, Indonesia. **Kontributor utama

<p>Kata kunci: densitas, komposit, kesetaraan tebal, internal bonding, Timbal (II) Asetat, Kaktus Centong</p>	<p>ABSTRAK: Telah dilakukan penelitian tentang potensi komposit dari Kaktus Centong (<i>Opuntia ficus indica</i>) dan timbal (II) asetat sebagai material apron proteksi radiasi sinar-X. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan komposit sebagai material apron proteksi radiasi sinar-X dengan sifat mekanik baik, lebih ringan, harga lebih murah (terjangkau), dan ramah lingkungan. Penelitian ini diawali dengan membuat sampel komposit Kaktus Centong (<i>Opuntia ficus indica</i>) dengan variasi komposisi timbal (II) asetat 0%, 20%, 33%, 50%, 67% dan 80%. Selanjutnya dilakukan pengukuran dimensi sampel untuk memperoleh nilai densitas komposit. Perhitungan kesetaraan tebal tiap sampel dilakukan menggunakan persamaan $\sum(\rho.x)a = \sum(\rho.x)b$, sedangkan pengukuran internal bonding dilakukan dengan menggunakan alat Zwick/Roell Z005. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit hasil campuran Pb (CH₃COO)₂ 80% dan kaktus centong memiliki densitas 1,43 g/cm³. Berdasarkan nilai densitas tersebut diperoleh nilai kesetaraan tebal apron yang diperlukan sebesar 0,198 mm agar mendekati standar apron proteksi radiasi sinar-X yang sesuai ketentuan Perka BAPETEN No 8 Tahun 2011. Uji komposit diperoleh nilai internal bonding sebesar 0,72 MPa, dan ketahanan beban cukup baik sesuai syarat uji tarik bentuk pakaian dalam SNI 1294-2009. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai densitas komposit berbanding lurus dengan kesetaraan tebal dan internal bonding.</p>
<p>Keywords: density, composite, thick equivalence, internal bonding, lead (II) acetate, Centong Cactus</p>	<p>ABSTRACT: Research has been conducted on the potential of composites from the Centong Cactus (<i>Opuntia ficus indica</i>) and lead (II) acetate as X-ray radiation protection apron material. The purpose of this research is to obtain a composite as an X-ray radiation protection apron material with good mechanical properties, less weight, a lower price (making it affordable), and environmental friendliness. This research begins by making composite samples of centong cactus (<i>Opuntia ficus indica</i>) with variations in the composition of lead (II) acetate at 0%, 20%, 33%, 50%, 67%, and 80%. Furthermore, the dimensions of the samples were measured to obtain the composite density value. The calculation of the thickness equivalence of each sample was carried out using the equation $\sum(\rho.x)a = \sum(\rho.x)b$, while the internal bonding was carried out using the Zwick/Roell Z005 tool. The results showed that the composite of 80% Pb(CH₃COO)₂ and Centong Cactus had a density of 1.43g/cm³. Based on the density value, the required apron thickness equivalence value is 0,198cm to approach the X-ray radiation protection apron standard in accordance with the provisions of BAPETEN Regulation No. 8 of 2011. The composite test obtained an internal bonding value of 0.72MPa, and the load resistance is quite good according to the requirements of the tensile test of clothing forms in SNI 1294-2009. The results of this study allow it to be concluded that the composite density value is directly proportional to the thickness and internal bonding equality.</p>

1 PENDAHULUAN

Komposit adalah material baru hasil sintesis dua atau lebih bahan yang berbeda sifat dan tetap terpisah dalam hasil akhir material tersebut. Dalam pembuatan komposit, densitas atau massa jenis me-

rupakan parameter penting yang harus diperhatikan. Tujuan penelitian membuat material komposit yaitu memperbaiki sifat mekaniknya, menghemat biaya, dan menjadikan material lebih ringan [1][2]. Material komposit biasanya tersusun dari dua atau lebih fasa, yaitu matriks dan *filler/ fiber*. Matriks adalah fasa

* Corresponding Author: email: ramlan@unsri.ac.id

dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi terbesar. Matriks mempunyai fungsi membentuk ikatan koheren pada permukaan matrik/ serat, melindungi serat, dan tetap stabil setelah proses pembuatan [3]. Komposit memiliki kekuatan spesifik yang tinggi jika dibandingkan dengan bahan logam, sehingga akan sangat ideal untuk digunakan sebagai bahan dasar berbagai bahan baku di bidang industri [1], [2].

Teknologi komposit telah berkembang secara signifikan, dan bahan penguat untuk komposit biasanya digunakan serat sintetis namun karena serat sintetis memiliki fitur yang kurang ramah lingkungan, industri lebih memilih menggunakan serat alam. Selain itu serat alam juga lebih dipercaya ramah lingkungan dan ketersediaannya di alam melimpah [2][4][5][6]. Salah satu penelitian terkait sintesis komposit apron proteksi radiasi sinar-X menggunakan serat alam yaitu pengembangan apron proteksi radiasi sinar-X dari serat rami dan resin epoksi dan juga apron proteksi radiasi sinar-X dengan pati singkong dan timbal nitrat [7], [8]. Abidin dan rekannya dalam penelitiannya menghitung densitas apron proteksi radiasi dengan *filler* timbal (II) oksida mendapatkan densitas sebesar 1,66 g/cm³ dan 1,65 g/cm³. Sehingga densitas apron masih jauh lebih rendah dibandingkan dengan densitas timbal (II) oksida 9,3 g/cm³[9]. Seperti diketahui tidak dipilihnya Pb²⁺ oksida sebagai *filler* karena warnanya yang kuning dan memiliki titik lebur yang sangat tinggi, serta bersifat tidak larut dalam katalis resin, selain juga harganya cukup mahal. Dalam penelitian ini digunakan timbal (II) asetat (Pb(CH₃COO)₂·3H₂O) lebih tepatnya disebut *lead* (II) *acetate trihydrate* dengan densitas sebesar 3,25 g/cm³ karena Pb asetat ini larut dalam katalis resin [10]. Selain digunakan *filler* timbal (II) asetat, dicampur dengan serat kaktus centong (*Opuntia Ficus Indica*) sebagai *fiber* komposit apron proteksi radiasi. Kaktus Centong (*Opuntia Ficus Indica*) adalah tanaman berduri yang dapat menyimpan banyak cadangan air dan cocok ditanam di iklim tropis, seperti Indonesia dengan atau tanpa perawatan rutin, sehingga mudah untuk dibudidayakan [11][12]. Selain dapat dikonsumsi sebagai pelengkap makanan buah dan sayur, Kaktus Centong (*Opuntia Ficus Indica*) juga memiliki manfaat sebagai tanaman hias, obat-obatan, pewarna alami, kosmetik, dan menurunkan kekeruhan pada air sungai [13][12][14][15][16]. Kaktus Centong juga dipercaya dapat menghilangkan racun arsenik di udara, antioksidan yang baik, sebagai tanaman hiperakumulator yang dapat meremediasi pencemaran logam pada tanah, serta dapat menyerap radiasi UV [11][17][18][19][14]. Berdasarkan keunggulan yang dimiliki timbal (II) asetat dan Kaktus Centong (*Opun-*

tia Ficus Indica) tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposit apron proteksi radiasi yang memiliki sifat mekanik lebih baik, lebih murah (harga lebih terjangkau), ringan, dan ramah lingkungan serta diharapkan dapat bermanfaat memberikan sumbangsih untuk bidang medis di Indonesia berupa gambaran komposisi hasil sintesis serat Kaktus Centong dan timbal (II) asetat sebagai bahan apron proteksi radiasi sinar-X.

2 BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Keselamatan Lingkungan, Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi Dan Mutu Nuklir (PRTKMMN), Badan Riset Dan Inovasi Nasional (BRIN), Jl. Lebak Bulus Jakarta Selatan. Waktu penelitian adalah Mei 2022 hingga Agustus 2022. Selanjutnya dilakukan uji tarik sampel di Laboratorium Quality Control PT Sumatera Prima Fiberboard (SPF) pada 9 Januari 2023.

Prosedur Penelitian

Pembuatan sintesis komposit apron proteksi radiasi sinar-X

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dan diawali pembuatan sintesis komposit apron untuk proteksi radiasi sinar-X. Sejumlah serbuk serat kaktus (*Opuntia Ficus Indica*) berukuran *mesh* 80 ditimbang menggunakan timbangan analitik digital ke dalam gelas *beaker*. Lalu bahan tersebut dicampur dengan bahan kimia timbal (II) asetat (Pb(CH₃COO)₂·3H₂O) yang telah digerus menggunakan cawan mortar dengan variasi komposisi 0%, 20%, 33%, 50%, 67%, 80% yang masing-masing dilakukan duplo. Sintesis dimulai dengan mencampurkan timbal (II) asetat ke bahan serat kaktus *Opuntia Ficus Indica* hingga mencapai berat komposisi yang diinginkan. Pada pembuatan komposit apron ini digunakan pelarut resin yukalac C-108 B sebanyak tiga kali dari jumlah serat kaktus (*Opuntia Ficus Indica*), serta ditambahkan katalis MEKPO dengan perbandingan 10:1 terhadap resin. Hasil sintesis sampel tersebut *diblending* hingga tercampur rata, dan campuran dituang ke cetakan silikon berbentuk persegi dengan ukuran 9x10cm. Selanjutnya hasil sintesis komposit apron dari serat kaktus *Opuntia Ficus Indica* dan timbal (II) asetat tersebut dikeringkan pada suhu ruangan selama 24 jam. *Aceton* digunakan untuk membersihkan peralatan yang terkena resin.

Pengujian sintesis komposit apron proteksi radiasi sinar-X

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif analitik untuk menentukan densitas, tebal kesetaraan, dan internal bonding. Densitas atau massa jenis (ρ) adalah perbandingan massa suatu zat dengan volumenya. Massa jenis sampel ditentukan dengan menimbang massa sampel komposit, sedangkan densitas diperoleh dengan membagi massa tersebut dengan volume sampel apron proteksi radiasi yang diukur [20], [21]. Salah satu bahan yang memiliki kemampuan baik dalam menyerap radiasi gamma dan atau sinar-X adalah timbal (Pb). Logam Timbal adalah suatu unsur logam yang memiliki nomor atom 82, dan densitas cukup besar, yaitu sekitar 11,34 g/cm³ sehingga sangat baik untuk bahan apron proteksi radiasi [10]. Densitas (ρ) suatu bahan dapat dihitung melalui persamaan berikut [9]:

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \tag{1}$$

Kesetaraan tebal dengan menyetarakan densitas timbal dengan densitas sampel bertujuan untuk mendapatkan tebal sampel yang diperlukan agar sampel komposit apron proteksi radiasi yang dibuat setara dengan apron proteksi radiasi yang sesuai ketentuan Perka BAPETEN No 8 Tahun 2011. Dalam perka BAPETEN tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional tersebut telah direkomendasikan bahwa apron radiasi harus sesuai dengan plat timbal setebal 0,5 mm untuk radiologi intervensional, dan 0,25 mm untuk apron radiologi diagnostik, maka digunakan rumus [9]:

$$\sum(\rho.x)a = \sum(\rho.x)b \tag{2}$$

Keterangan: ρa = densitas material a; ρb = densitas material b; xa = tebal material a; xb = tebal material b

Uji internal bonding atau uji kuat rekat sampel komposit apron proteksi radiasi sinar-X dilakukan dengan merekatkan sampel komposit apron proteksi radiasi sinar-X pada blog dengan menggunakan *glue stick* yang telah dipotong-potong kecil dengan ukuran sekitar 1 cm. Mula-mula sampel dipotong terlebih dahulu hingga berukuran 5x5 cm, selanjutnya setiap variasi sampel dilakukan pengukuran kembali densitasnya. *Glue stick* dipanaskan di atas blog pada *hot plate*, setelah meleleh digunakan untuk merekatkan sampel komposit apron proteksi radiasi sinar-X pada blog di kedua sisi sampel dan *dicooling* pada *water bath* agar blog dan sampel lebih cepat merekat dengan baik. Pengujian internal bonding dilaku-

kan menggunakan alat Zwick/Roell Z005 pada jarak *grip to grip* 224,97 mm hingga ke bagian internal sampel retak untuk dilihat nilai dari internal bonding sampel tersebut [22]. Nilai internal bonding dapat dihitung menggunakan rumus [23]:

$$IB = \frac{P_{max}}{A} \tag{8}$$

Keterangan: IB = Kekuatan rekat internal (N/m²); P_{max} = Beban maksimum (N); A = Luas permukaan sampel (m²)

3 HASIL

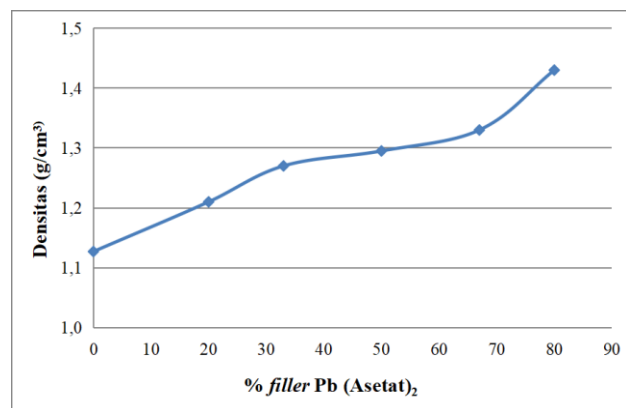
Densitas

Pengukuran densitas dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui rapat massa jenis terbaik dari komposisi sintesis bahan-bahan yang digunakan membuat komposit apron. Komposisi yang digunakan dalam penelitian ini timbal (II) asetat dengan variasi konsentrasi 0%, 20%, 33%, 45%, 50%, 67%, dan 80%. Hasil pengukuran dimensi sampel dan perhitungan densitas ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data pengukuran densitas sintesis komposit apron serat kaktus dan timbal (II) asetat

N o	Sample (%)	Tebal (cm)	Massa (g)	Volume (cm ³)	ρ (g/cm ³)
1	0	2,35	87,09	80,79	1,13
2	20	0,74	87,73	72,53	1,21
3	33	0,38	45,21	35,64	1,27
4	50	0,36	38,49	29,68	1,30
5	67	0,36	44,80	34,38	1,33
6	80	0,41	55,93	39,35	1,43

Berdasarkan data pada Tabel 1 tersebut dapat diketahui pengaruh komposisi *filler* timbal (II) asetat terhadap rapat massa jenis atau densitas sampel komposit apron proteksi radiasi sinar-X Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh penambahan *filler* Pb (Asetat)₂ dengan densitas komposit apron proteksi radiasi sinar-X

Pada Gambar 1 terlihat hubungan yang linier antara penambahan *filler* timbal (II) asetat pada pembuatan sintesis komposit apron dengan densitasnya semakin banyak penambahan *filler* semakin tinggi densitas komposit apron proteksi radiasi sinar-X [9][8][24][25]. Densitas sampel komposit tertinggi diperoleh pada penambahan *filler* timbal (II) asetat sebanyak 80%, sedangkan densitas paling rendah pada sampel tanpa *filler* (0%) atau setara dengan 100% serat kaktus centong.

Kesetaraan Tebal

Data tebal yang dibutuhkan untuk mencapai densitas apron proteksi radiasi berbahan plat timbal dengan tebal 0,25 mm dan densitas 11,34 g/cm³ juga dapat menentukan seberapa optimal potensi yang dimiliki sampel komposit apron proteksi radiasi dari setiap komposisi.

Tebal sampel yang diperlukan untuk setara dengan densitas apron timbal tebal 0,25 mm diterangkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tebal sampel yang diperlukan untuk setara dengan densitas apron timbal

No	Sampel (%)	ρ (g/cm ³)	t_x (cm)
1	0	1,13	0,251
2	20	1,21	0,234
3	33	1,27	0,223
4	50	1,30	0,218
5	67	1,33	0,213
6	80	1,43	0,198

Data kesetaraan tebal yang didapatkan, diperoleh dari perhitungan berdasarkan persamaan (2) dengan menggunakan densitas sampel sesuai komposisi dan densitas timbal sebesar 11,43 g/cm³. Data kesetaraan tebal yang diperoleh berkisar diantara angka 0,2 cm hingga 0,25 cm. kesetaraan tebal (t_x) yang tertinggi didapatkan oleh persentase *filler* timbal (II) asetat 0% pada angka 0,251 cm dan data terkecil didapatkan pada persentase *filler* timbal (II) asetat pada persentase timbal (II) asetat 80%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara densitas dan kesetaraan tebal sampel.

Internal Bonding

Uji internal bonding bertujuan untuk mengetahui daya rekat antar *fiber*, *filler* dan matrix pada sampel komposit apron proteksi radiasi. Metode yang digunakan dengan cara merekatkan sampel dengan blog yang kemudian ditarik dengan dua grip di masing-masing sisi atas dan bawah yang telah dipasang blog. Tabel 3 berikut menunjukkan data hasil uji in-

ternal bonding sampel komposit apron proteksi radiasi.

Tabel 3. Data hasil uji internal bonding

No.	Sample %	Tebal sampel (cm)	IB (MPa)	F _{Max} (N)
1	0	7,91	1,41	3.510
2	20	7,27	1,76	4.400
3	33	3,93	1,27	3.170
4	50	3,79	0,80	2.000
5	67	3,83	1,12	2.790
6	80	3,72	0,72	1.180

Pengujian internal bonding atau uji kuat tarik dilakukan dengan cara sampel direkatkan pada dua blog besi kemudian ditarik tegak lurus permukaan sampel hingga diperoleh gaya beban maksimum (sampel mengalami retakan). Gaya maksimum untuk beban yang dapat ditahan oleh sampel komposit apron proteksi radiasi dalam bentuk pakaian menurut SNI 1294-2009 adalah 60N hingga 180N.

4 PEMBAHASAN

Densitas

Sesuai dengan teori yang ada, rapat massa jenis timbal (II) asetat lebih besar dibanding rapat massa jenis serat kaktus *opuntia ficus indica*. Semakin banyak komposisi timbal (II) asetat pada sintesis komposit apron maka semakin besar pula rapat massa jenis sampel tersebut. Sebaliknya, semakin sedikit komposisi timbal (II) asetat maka semakin kecil nilai rapat massa jenis sampel. Hal ini dibuktikan oleh rapat massa jenis paling besar ada pada sampel 80% timbal (II) asetat diteruskan hingga yang paling rendah pada variasi sampel 20% dan sampel acuan 0% timbal (II) asetat.

Kesetaraan Tebal

Pada Tabel 2 terlihat bahwa makin besar nilai densitas dari sampel komposit apron untuk proteksi radiasi sinar-X, makin kecil nilai tebal sampel yang dibutuhkan untuk mencapai densitas apron timbal dengan tebal 0,25 mm atau 0,025 cm untuk apron proteksi radiasi sinar-X radiologi diagnostik agar sesuai dengan peraturan BAPETEN No 8 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. Pada sampel dengan komposisi *filler* timbal (II) asetat sebesar 0% dengan bahan murni kaktus dan matrix, diperlukan tebal 0,251 cm untuk dapat setara dengan apron timbal murni dengan ketebalan 0,025 cm. Sedangkan untuk komposisi *filler* timbal (II) asetat sebesar 80% diperlukan tebal 0,198 cm. Hal tersebut menjelaskan bahwa semakin kecil nilai tebal sampel

yang diperlukan untuk memenuhi standar peraturan BAPETEN, maka akan semakin baik sampel komposit apron mengabsorpsi radiasi sinar-X. Hal ini menunjukkan adanya potensi untuk dapat dijadikan pertimbangan dalam rasio komposisi sebagai apron proteksi radiasi sinar-X.

Internal Bonding

Pada Tabel 3 terlihat bahwa tebal sampel komposit apron dan banyaknya komposisi bahan yang digunakan untuk sintesis akan mempengaruhi internal bonding sampel. Data menunjukkan makin tebal sampel, makin besar pula hasil uji kuat tariknya gaya beban yang dapat dipertahankan oleh sampel sebelum sampel retak. Sampel paling tebal adalah sampel dengan komposisi filler timbal (II) asetat 0%, Sedangkan nilai internal bonding paling tinggi terdapat pada sampel dengan komposisi filler timbal (II) asetat 20%. Hal ini karena pada sampel 0%, komposisi kaktus *Opuntia Ficus Indica* hanya 20 g, sedangkan pada sampel komposit apron 20% mengandung kaktus *Opuntia Ficus Indica* 20 g, filler timbal (II) asetat 5g dengan jumlah resin dan katalis yang sama. Hasil pengujian sampel komposit apron proteksi radiasi memiliki nilai internal bonding atau uji tarik paling rendah sebesar 0,72 MPa dan gaya maksimum beban 1.180N, yang artinya bahwa semua sampel telah memenuhi syarat uji tarik dalam SNI 1294-2009 yang harus dapat mempertahankan beban minimal 60N hingga 180N.

5 KESIMPULAN

Densitas sangat mempengaruhi potensi penggunaan komposit apron proteksi radiasi sinar-X oleh pekerja radiasi radiologi diagnostik. Hasil penelitian telah didapatkan komposit apron proteksi radiasi sinar-X dengan campuran filler 80% mempunyai desintas 1,43 g/cm³, kesetaraan tebal 0,198 cm, IB 0,72 MPa, dengan gaya maksimum beban 1.180N. Nilai ini paling mendekati standar apron proteksi radiasi sinar-X yang disarankan Perka BAPETEN No. 8 Tahun 2011 dengan ketahanan beban yang cukup baik.

REFERENSI

- [1] M. Yani dan F. Lubis, "Pembuatan Dan Penyelidikan Perilaku Mekanik Komposit Diperkuat Serat Limbah Plastikakibat Beban Lendutan," *Tek. Mesin ITM*, vol. 4, no. 2, hal. 77–84, 2018.
- [2] S. Hadi dan M. Perdana, "Pengaruh Bahan Komposit Ramah Lingkungan Terhadap Sifat Fisik dan Sifat Termal Komposit Alam," *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, hal. 367–373, 2018.
- [3] V. Harahap, *Pembuatan Material Komposit BaFe12O19/ZnO Pada Bidang Radiologi*, m. Malang: Ahlimedia Press, 2021.
- [4] B. T. Mulyo dan H. Yudiono, "Analisis Kekuatan Impak Pada Komposit Serat Daun Nanas Untuk Bahan Dasar Pembuatan Helm SNI," *J. Kompetensi Tek.*, vol. 10, no. 2, hal. 1–8, 2018.
- [5] D. A. Prayoga dan N. S. Drastiawati, "Pengaruh Jumlah Laminasi Core Komposit Sandwich Serat Kenaf Dengan Core Kayu Sengon Terhadap Kekuatan Bending," *J. Tek. Mesin*, vol. 09, no. 01, hal. 1–10, 2021.
- [6] D. Darianto, A. Siregar, B. Umroh, dan D. Kurniadi, "Simulasi Kekuatan Mekanis Material Komposit Tempurung Kelapa Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 3, no. 1, hal. 39–44, 2019, doi: 10.31289/jmemme.v3i1.2443.
- [7] N. A. Himawan, T. D. Purwinta, dan Suparno, "Komposisi Optimal Komposit Serat Rami dan Resin Epoxy Sebagai Alternatif Bahan Perisai Anti-Radiasi Sinar-X," *J. Pendidik. Fis. dan Keilmuan*, vol. 6, no. 2, hal. 85–92, 2020.
- [8] E. Afrianti, D. Tahir, B. Y. E. B. Jumpeno, O. A. Firmansyah, dan J. Mellawati, "Addition of Lead (Pb)-Nitrate Filler on Polymer Composite Aprons for X-Ray Radiation Shielding," *Atom Indones.*, vol. 47, no. 2, hal. 129–133, 2021, doi: 10.17146/aij.2021.1033.
- [9] Z. Abidin, D. Alkrytania, dan I. N. Indrajati, "Analisis Bahan Apron Sintetis Dengan Filler Timbal (Ii) Oksida Sesuai Sni Untuk Ppoteksi Radiasi Sinar-X," *J. Forum Nukl.*, vol. 9, no. 1, hal. 38, 2017, doi: 10.17146/jfn.2015.9.1.3562.
- [10] H. Dabukke, F. Aritonang, dan S. Sijabat, "Analisis Berkas Sinar-X Pada Polyester Timbal Asetat Di Murni Teguh Memorial Hospital Analysis," *J. Pendidik. Fis. Tadulako Online*, vol. 9, no. 1, hal. 70–76, 2021.
- [11] V. K. Ponniresan, I. Maqbool, R. Thangaiyan, K. Govindasamy, dan N. R. Prasad, "Preventive Effect Of Opuntiol, Isolated from Opuntia Ficus Indica (L.Mill), Extract Against Ultraviolet A Radiation-Induced Oxidative Damages in NIH/3T3 Cells," *Int. J. Nutr. Pharmacol. Neurol. Dis.*, vol. 9, no. 4, hal. 157–164, 2019.
- [12] A. A. Isaac, "Overview of cactus (opuntia ficus-indica (l): A myriad of alternatives," *Stud. Ethno-Medicine*, vol. 10, no. 2, hal. 195–205, 2016, doi: 10.1080/09735070.2016.11905488.
- [13] Erlani dan N. Triani, "Pemanfaatan Tanaman Kaktus Berduri Dalam Menurunkan Kekeruhan Pada Air Sungai," *Pendidik. Kim. PPs UNM*, vol. 17, no. 2, hal. 48–55, 2017.
- [14] D. Puspita, *Ampuhnya Tanaman Hias Bagi Kesehatan dan Kecantikan*. Yogyakarta: Laksana, 2019.
- [15] F. C. Stintzing dan R. Carle, "Cactus stems (Opuntia spp.): A review on their chemistry, technology, and uses," *Mol. Nutr. Food Res.*, vol. 49, no. 2, hal. 175–194, 2005, doi: 10.1002/mnfr.200400071.
- [16] Muliana, *Tentang Kaktus*. Jawa Barat: CV Jejak, 2022.

- [17] A. Andayani *et al.*, *Informasi Teknis Budidaya Tanaman Pot dan Lansekap Seri Tanaman Hias Potensial Penyerap Polutan*. Jakarta: Biro umum dan Humas, Kementerian Pertanian bekerjasama dengan Solidaritas Istri Kabinet Indonesia Bersatu (SIKIB), 2012.
- [18] L. Zourgui, E. El Golli, C. Bouaziz, H. Bacha, dan W. Hassen, "Cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes prevent oxidative damage induced by the mycotoxin zearalenone in Balb/C mice," *Food Chem. Toxicol.*, vol. 46, no. 5, hal. 1817–1824, 2008, doi: 10.1016/j.fct.2008.01.023.
- [19] A. Cahyati, S. Arifin, dan M. Abror, "Potensi Kaktus Centong (*Opuntia cochenillifera*) Sebagai Agen Remediasi Tanah Tercemar Lumpur Sidoarjo Dengan Indikator Penurunan Kadar Fe dan Pertumbuhan Tanamannya," *Procedia Eng. Life Sci. Semin. Nas. Call Pap. Fak. Sains dan Teknol. (SENASAINS 4th)*, vol. 2, no. 2, 2022.
- [20] N. B. Prawira dan A. Rouf, "Perancangan Alat Ukur Massa Jenis Zat Cair Menggunakan Cepat Rambat Gelombang Ultrasonik," *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.)*, vol. 8, no. 2, hal. 143, 2018, doi: 10.22146/ijeis.24481.
- [21] T. Landi dan A. Arijanto, "Perancangan Dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik Jenis Ldpe (Low Density Polyethylene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif," *J. Tek. Mesin Undip*, vol. 5, no. 1, hal. 1–8, 2017.
- [22] I. Rahmawati, Lafira, F. P. Sari, A. A. Bama, dan Ramlan, "Analisis sifat fisis dan mekanik fiberboard pada HDF, MDF, dan MLDF dengan variasi density profile menggunakan alat density profile analyzer meter DPX200 IMAL," *J. Penelit. Sains*, vol. 24, no. 3, hal. 134–139, 2022.
- [23] M. R. Putri, I. D. Faryuni, dan N. Nurhasanah, "Pabrikan Papan Komposit Berbahan Dasar Sabut Pinang (*Areca catechu* L.) dan Sabut Kelapa (*Cocos nucifera* L.)," *Prism. Fis.*, vol. 7, no. 3, hal. 223, 2020, doi: 10.26418/pf.v7i3.36780.
- [24] I. Setiyawan, H. Sutanto, dan D. K. Sofjan Firdausi, "Penentuan Nilai Koefisien Serapan Bahan Pada Besi, Tembaga Dan Stainless Steel Sebagai Bahan Perisai Radiasi," *Youngster Phys. J.*, vol. 4, no. 2, hal. 219–224, 2015.
- [25] A. Ferhat, Mardiyanto, dan A. K. Rivai, *PLTN dan Riset Material Reaktor Maju*. Yogyakarta: Deepublish (Grup Penerbitan CV Budi Utama), 2021.